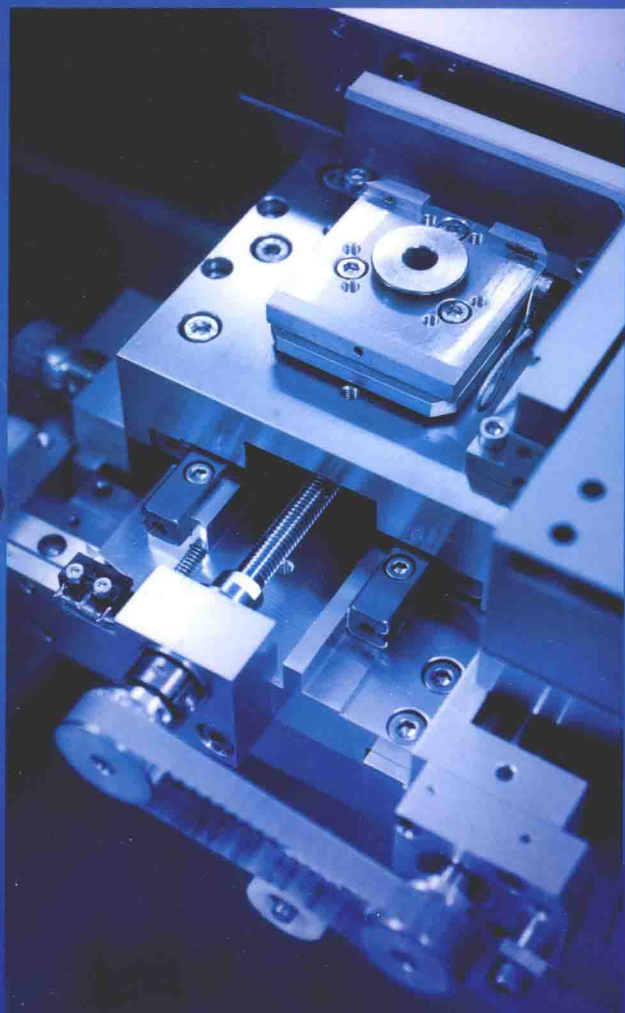


普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材

互换性与测量技术

INTERCHANGEABILITY AND
MEASUREMENT TECHNOLOGY

刘卫胜 © 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材

互换性与测量技术

主 编 刘卫胜
副主编 张爱军 魏永杰



机械工业出版社

本书是高等学校机械类、仪器类专业的技术基础课教材。全书共分七章，主要内容有：结合“极限与配合”“几何公差”“表面粗糙度”三个重要的基础标准，阐述几何量加工误差与公差的基本知识；零件几何量精度的设计基础；齿轮、螺纹、花键、尺寸链以及检测技术基础等。

全书以精度设计为主线，削枝强干，有利于教学和自学。

本书适合机械类专业、测控技术与仪器专业的师生使用，也可供有关工程技术人员应用参考。

图书在版编目（CIP）数据

互换性与测量技术/刘卫胜主编. —北京：机械工业出版社，2015.7

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材 普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 51214 - 1

I. ①互… II. ①刘… III. ①零部件 - 互换性 - 高等学校 - 教材②零部件 - 测量技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 189325 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王小东 责任编辑：王小东 刘丽敏

封面设计：张 静 责任校对：程俊巧 任秀丽

责任印制：刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12 印张·296 千字

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 51214 - 1

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

“互换性与测量技术”课程是机械类、仪器类专业的一门重要的技术基础课，它由互换性与测量技术两个联系密切的部分组成。本课程虽然经历多次教学改革，教材体系几度变革，但其互换性与测量技术这两方面的知识，始终是有关专业的学生和工程技术人员所必须掌握的。

近年来，本课程教材的版本已有几十种，可谓百花齐放、各具特色，但体系大都是按典型零件及公差标准划分章次，而且选材又多有以宣传贯彻标准为重点的摘取和浓缩，以致内容多而学时少的矛盾日渐突出，也使“学以致用”的原则受到一定影响。

本教材是以精度设计为主线，按突出重点的原则来编写的。全书共分七章：

第1章为绪论。

第2章集中介绍产品几何量的加工误差与公差的基本知识，并结合“极限与配合”“几何公差”“表面粗糙度”三个重要的基础标准进行阐述。

第3章介绍零件几何量精度设计的基础内容，着重介绍尺寸公差与配合、几何公差及表面粗糙度的选用。这三方面（尺寸公差、几何公差、表面粗糙度）的内容约占实际零件设计以及零件图样精度标注的90%以上，是精度设计的核心，也是学生举一反三的基础。本章还列举一些示例，并在书后安排了综合作业题，以加强学生精度设计方面初步能力的锻炼。

第4章为渐开线圆柱齿轮传动的公差及其应用、配合与检测。这一章的内容较复杂、难度较大，是典型零件的公差、配合与检测。

第5章介绍螺纹、单键、花键结合的公差与配合。本章可不在课堂讲授，在学生较好地掌握前面几章的内容之后，自学本章并不困难。

以上各章内容，覆盖了除“机械制图”之外的六项机械工业重要基础标准。

第6章是从精度设计的角度讲解尺寸链的基本概念。

第7章介绍检测技术的基础知识，这一章宜结合实验课来学习。配套实验指导教材另行编写。

本书在河北工业大学多年教材编写和课堂教学的基础上，对内容进行了精选、调整和补充，力求削枝强干，强调少而精。本书全部采用最新国家标准。

本书由河北工业大学刘卫胜担任主编，张爱军、魏永杰担任副主编。前言、第1、2章由刘卫胜编写，第3章由张爱军编写，第4章由魏永杰编写，第5章由周围编写，第6章由杨泽青编写，第7章由冉多钢编写，各章习题由魏永杰编写。刘卫胜、魏永杰进行了统稿工作。本书全部章节由刘卫胜审阅定稿。由于水平所限，书中难免有不妥乃至错误之处，望读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第1章 绪论 1

- 1.1 机械产品与零件的精度要求及几何量检测技术 1
- 1.2 机械零件与产品的互换性 3
- 1.3 标准化与优先数系 4
- 1.4 本课程的研究对象及任务 8
- 习题与思考题 8

第2章 产品几何量的加工误差与公差 9

- 2.1 加工误差的基本概念 9
- 2.2 尺寸误差与公差 10
- 2.3 结合件的配合 16
- 2.4 公差与配合的国家标准 19
- 2.5 几何误差与公差 31
- 2.6 表面粗糙度 50
- 习题与思考题 59

第3章 零件几何量精度的设计基础 61

- 3.1 概述 61
- 3.2 尺寸公差与配合的选择 61
- 3.3 公差原则 68
- 3.4 几何公差的选择 76
- 3.5 表面粗糙度的选用 82
- 3.6 与滚动轴承相配零件的几何量精度 84
- 3.7 典型结构的几何量精度设计示例 91
- 习题与思考题 99

第4章 圆柱齿轮精度及应用 102

- 4.1 概述 102
- 4.2 圆柱齿轮精度的评定指标及检测 105
- 4.3 与齿轮副精度有关的评价指标及检测 112
- 4.4 圆柱齿轮精度的国家标准以及应用 115
- 习题与思考题 126

第5章 螺纹、单键、花键结合的公差与配合 128

- 5.1 螺纹结合的公差与配合 128
- 5.2 单键结合的公差与配合 137
- 5.3 花键结合的公差与配合 139
- 习题与思考题 143

第6章 尺寸链 144

- 6.1 尺寸链的基本概念 144
- 6.2 极值法解尺寸链 147
- 6.3 概率法(统计法)解尺寸链 152
- 6.4 解尺寸链常采用的工艺措施 155
- 习题与思考题 158

第7章 检测技术基础 160

- 7.1 测量与量值传递 160
- 7.2 计量器具与测量方法 165
- 7.3 常用长度测量仪器原理简介 168
- 7.4 测量误差与数据处理 170
- 7.5 用一般计量器具测量工件 176
- 7.6 用光滑极限量规检验工件 179
- 习题与思考题 185

综合作业题 187

参考文献 188

第1章 绪 论

1.1 机械产品与零件的精度要求及几何量检测技术

1.1.1 机械产品与零件的精度要求

现代机械产品的质量,包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等,与产品的精度(尺寸、几何公差、表面粗糙度等)密切相关。在合理设计结构和正确选用材料的前提下,零部件和整机的精度,就是产品质量的决定性因素。

当前,随着科学技术的发展和生产水平的提高,对产品精度的要求也越来越高。例如,生产车间使用的精度等级最低为 $630\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的划线平板,其平面度误差,即工作面不平的误差,不得超过 $70\mu\text{m}$,和一般人的头发直径差不多。而0级千分尺测砧测量面的平面度误差,要求不大于 $0.6\mu\text{m}$ 。又如,作为尺寸传递媒介的量块(详见第7章),尺寸精度要求更高,尺寸为 10mm 的00级量块,其长度的极限偏差不得超过 $\pm 0.06\mu\text{m}$ 。体现现代科技水平的大规模集成电路,要在 1mm^2 面积的硅片上集成数以万计的元器件,其上的线条宽度约为 $1\mu\text{m}$,形状误差要小于 $0.05\mu\text{m}$ 。

当两个或多个零件相互配合组装在一起时,需要进一步考虑装配后的配合精度要求。例如,一般磨床主轴与滑动轴承装配后的间隙要求为几微米,间隙过小将旋转不灵活,润滑不充分,甚至烧伤卡死,损坏磨床;间隙过大则旋转精度不能满足加工要求。

对传动件,如齿轮副、丝杠副等,还有运动准确性、平稳性、可靠性及承载能力等要求。高精度的丝杠,其螺距误差也只允许几微米。

对部件和整机,也同样要有精度要求。例如,精度并不高的CA6140车床两顶尖的同轴度,即两顶尖轴线的重合程度,最大偏差不得超过 $10\mu\text{m}$;0~25mm的0级千分尺两测砧测量面的平行度误差,要求不大于 $1\mu\text{m}$,否则不能满足加工精度和测量精度的要求。

1.1.2 影响机械产品质量的几何量误差

任何零件都是由若干个实际表面形成的几何实体。因此,其几何量误差,不外单一表面尺寸大小的误差、表面的形状误差、表面之间的方向和位置误差和相互关联的尺寸误差(如两孔之间的中心距误差等)。在零件装配成部件或整机后,也有位置误差和关联尺寸的误差。例如,上面所说的量块长度偏差属于尺寸误差,划线平板和千分尺测量面的平面度误差属于形状误差,而千分尺两测量面的平行度误差和车床两顶尖的同轴度误差,则属于方向和位置误差。

其中,表面形状误差按产生的原因、表现形式和对产品质量影响的不同可分为以下三种:

(1) 微观形状误差 一般称为表面粗糙度(旧标准曾称之为表面光洁度)。它是在机械

加工中,因切削刀痕、表面撕裂、振动和摩擦等因素,在被加工表面上留下的间距较小的微小的起伏不平。它影响零件的配合松紧性质、疲劳强度、耐磨性和抗腐蚀性、美观等性能。

(2) 中间形状误差 一般称表面波度。它有较明显的周期性的波距和波高,只是在高速切削条件下才有时呈现,常见于滚动轴承套圈等零件。表面波度的波距有资料认为是1~10mm,小于1mm属表面粗糙度,大于10mm属宏观形状误差。

(3) 宏观形状误差 一般简称形状误差。它产生的原因主要是加工机床和夹具本身有形状、方向和位置误差,还有零件加工中的受力变形和受热变形,以及较大的振动等。零件上的直线不直,平面不平,圆截面不圆,都属形状误差。

表面形状误差如图1-1所示。

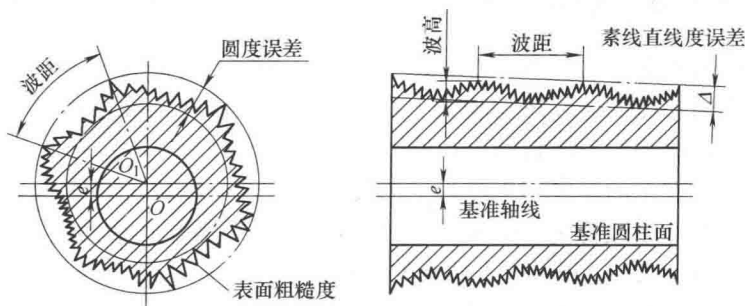


图1-1 表面形状误差

宏观形状误差、方向和位置误差有许多相近之处,通常合称为几何误差(形位误差)。它们影响零件的配合性质和密封性,加剧磨损,降低联接强度和接触刚度,直接影响整机的工作精度和寿命。

综合上述,机械产品的几何量误差分类如图1-2所示。

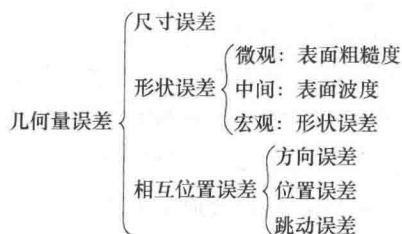


图1-2 几何量误差分类

1.1.3 几何量检测及其技术发展概况

正确的测量和检验,是保证机械产品精度和互换性生产的基本措施之一。对于机械产品的检测,其中几何量检测是占比重最大和最重要的部分。从机械制造发展的历程来看,几何量检测技术的发展,是与机械加工精度的提高相辅相成的。加工精度的提高,一方面要求并促进测量器具的测量精度也跟随提高;另一方面,加工精度本身也要通过精确的测量来体现和验证。

19世纪中叶出现了游标卡尺,当时机械加工精度可达0.1mm。20世纪初,加工精度达到0.01mm,可用千分尺测量。20世纪30年代开始,成批生产了光学比较仪、测长仪、光波干涉仪和万能工具显微镜等当前仍在生产中广泛使用的光学精密量仪。当时相应的机械加工精度提高到了1 μ m左右及更小。近半个世纪以来,精密机械加工的水平的提高。近年,高精密机床主轴的跳动误差要求已不超过0.01 μ m,导轨直线度要求为0.3 μ m/m,空气轴承的回转精度在径向和轴向都要求0.02 μ m,这些参数的测量都要使用高精度的

仪器和新的测量方法。几何量测量技术的发展,不仅促进了机械工业的发展,而且对其他工业部门,对科学技术,对内外贸易乃至对现代社会生活的方方面面,都起着重要的推动作用。美国的阿波罗登月计划,各种测试费用约占总开支的40%;我国最近发射可载人的宇宙飞船,所用测试设备数以万计,用以检测包括几何量在内的各种物理量。由此可见,测试技术对发展高科技的重要作用。我国有光辉灿烂的古代文明,检测技术就是这个文明的重要组成部分。早在商代我国即开始有象牙尺,秦始皇统一度量衡制,已有互换性加工的萌芽,这从西安秦兵马俑中出土的箭簇和弩机(一种远射的箭头和扳机)已得到证实。

新中国建立后,经过60多年的努力,我国已走过了西方发达国家100余年的科技发展历程,取得了很大成就。就几何量计量测试技术来说,主要的基准、标准(包括“米”定义的复现)已经建立,经国际对比,达到一般国际水平,个别项目还处于先进行列。全国建立了比较完善的计量机构,有统一的量值传递网。我国不仅可生产一般的精密量仪,还研制成功了许多先进的高科技仪器。近年各工矿企业的计量测试工作也发展迅速,解决了生产中的许多重大难题,取得了很好的经济效益。我国还颁布有《中华人民共和国标准化法》和《中华人民共和国计量法》,使标准化与计量工作走上了法制轨道。

1.2 机械零件与产品的互换性

1.2.1 互换性的概念及其作用

现代化机械产品的生产,是建立在互换性原则基础之上的。所谓互换性,是指按规定的技术条件和要求(主要是精度要求)来分别制造机械产品的各组成部分和零件,使其在装配和更换时,不需任何挑选(对批量生产)、辅助加工和修配,就能顺利地装入整机中的预定位置,并能满足使用性能要求。例如,汽车、拖拉机以至人们日常使用的自行车、手表等产品,都是按互换性要求生产的,如果有零件损坏,修理时可很快地用同样规格的备件直接换上,并能恢复其使用性能。当然,这样的零部件都具有互换性。广义的互换性除几何参数外,还应包括机械性能(如硬度、强度)及理化性能(如材质成分、电气性能)等内容,本书讨论的主要是几何量参数的互换性。

互换性的优越性可分述如下:

(1) 从生产的角度看 按互换性原则组织生产,可实行大规模的分工协作,尽可能多地采用标准化的刀、夹、量具和高效率的专用设备,组织专业化的流水生产线,从而有利于提高产品质量和生产效率,并降低成本。装配时不用修配,效率和工艺性也明显提高和改善。

(2) 从设计的角度看 可大量采用按互换性原则设计,并经过生产实践检验的标准零、部件,以大幅度减少设计工作量;可采用标准化的计算方法和程序,进行高效率的优化设计。

(3) 从使用角度看 不仅修配方便,而且有利于获得物美价廉的产品,在许多情况下,还有更明显的效益。例如,拖拉机等农用机械,迅速更换易损零件,可保证不误农时;发电设备的及时修复,可保障连续供电;战场上武器弹药的互换性,可保证不贻误战机等。由上述可知,互换性是机械制造中的重要生产原则和效果显著的技术经济措施。虽然互换性是伴

随近代大规模生产,特别是军火生产而出现的,但互换性原则并不是仅限于大批量生产。例如近年发展起来的,被称为机械工业生产重大改革阶段的柔性生产系统(F.M.S)和计算机集成生产系统(CIMS),可迅速在生产线上改变产品的规格和品种,以适应高精度、高效率、小批量的多品种生产,它对产品零、部件以及生产线本身的互换性和标准化程度,要求更高。

1.2.2 保证互换性生产的基本技术措施

为使零件具有互换性,最理想的是使同一规格的零件的功能参数(包括几何量参数及材质等)完全相同。但这是办不到的,也无需这样要求。实际生产中,是将零件的有关参数(主要是几何量参数)的量值,限制在一定的能满足使用性能要求的范围之内,这个允许参数量值的变动范围,就叫做“公差”。

公差的大小,主要应按产品和零件的使用性能要求来设计规定。例如,前面讲到的磨床主轴与滑动轴承装配后的间隙,有的要求为 $4 \sim 5\mu\text{m}$,它决定于主轴和轴承直径的尺寸公差及相应的工艺措施;0级千分尺测量面的平面度误差要求不大于 $0.6\mu\text{m}$,是它的形状公差,装配后两测量面的平行度误差不大于 $1\mu\text{m}$,是它的方向公差。

规定公差,是保证互换性生产的一项基本技术措施。在设计机械产品时,合理地规定公差十分重要。公差过大,不能保证产品质量;公差过小,加工困难且成本增加。所以在精度设计规定公差时,要力求获得技术与经济的最佳综合效益。

至于生产出来的零件和产品是否都满足公差要求,那就要靠正确的测量和检验来保证,所以测量检验是保证互换性生产的又一基本技术措施。

实现互换性生产,还要求广泛的标准化。产品的品种规格要标准化、系列化;各种尺寸、参数要标准化;各种零件的公差与配合以及一些检测方式方法也都要标准化。在满足使用要求的前提下,产品的规格、品种、参数以及公差与配合的种类,应尽可能减少,以利于互换性生产。

由以上可知,合理地规定公差,正确地测量和检验,广泛地实施标准化,都是保证互换性生产的基本技术措施。

1.3 标准化与优先数系

1.3.1 标准化

从概念上讲,标准化是指制定和贯彻技术标准,以促进经济发展的整个过程。而技术标准(简称标准)是从事生产、建设以及商品流通等活动的一种共同技术依据。它是以生产实践、科学试验及理论分析为基础而制定的,经一定程序批准后发布,作为共同遵守的准则和依据,在一定范围内具有强制性或推荐性约束力的标准。

标准按适用的范围有国际标准、国家标准、行业标准(如机电、化工标准)和企业标准等级别。国际标准化组织(ISO)是制定各种国际标准的主要组织,我国是正式成员国。我国的许多国家标准(GB)都是在结合我国生产实践的基础上,参照或参考ISO标准制定或更新的。标准的国际化,是当前标准化发展的重要特点。

按标准化对象的特性,标准又可分为以下四类:

(1) 基础标准 是针对生产中最一般的共性问题,依据普遍的规律性而制定的,它具有广泛的指导意义,通用性很广泛。例如各种公差与配合标准、制图标准、优先数与优先数系、标准长度和直径等,都是基础标准。

(2) 产品标准 是对产品规格和质量所作的统一规定,它又分产品系列标准和产品质量标准两类。

(3) 方法标准 是对设计、生产、验收过程中的重要程序、规则和方法等所作的规定。

(4) 安全和环境保护标准 是以安全和保护环境为目的而制定的标准。

在实际应用中,标准还有许多分类方法,如生产中除产品标准外,还有零件部件标准、原材料标准、工艺及工装标准等。有的部门标准还称为规程或规范,如各种计量器具的检定规程等。

总之,标准化的范围很广泛,作用很重要,涉及社会生产和生活的各个领域,而互换性生产更是和标准化分不开的。

本书所涉及的主要国家标准如下:

GB/T 10095.1—2008《圆柱齿轮 精度制 第1部分:轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》

GB/T 10095.2—2008《圆柱齿轮 精度制 第2部分:径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值》

GB/T 1031—2009《表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》

GB/T 10610—2009《表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法》

GB/T 1182—2008《几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》

GB/T 1184—1996《形状和位置公差 未注公差值》

GB/T 131—2006《技术产品文件中表面结构的表示法》

GB/T 13319—2003《几何公差 位置度公差注法》

GB/T 13924—2008《渐开线圆柱齿轮精度 检验细则》

GB/T 1414—2013《普通螺纹 管路系列》

GB/T 14791—1993《螺纹 术语》

GB/T 15756—2008《普通螺纹 极限尺寸》

GB/T 16671—2009《几何公差 最大实体要求、最小实体要求和可逆要求》

GB/T 17851—2010《几何公差 基准和基准体系》

GB/T 1801—2009《极限与配合 公差带和配合的选择》

GB/T 1800.1—2009《极限与配合 第1部分:公差、偏差和配合的基础》

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

GB/T 18780.1—2002《几何要素 第1部分 基本术语和定义》

GB/Z 18620.1—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第1部分:轮齿同侧齿面的检验》

GB/Z 18620.2—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第2部分:径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验》

GB/Z 18620.3—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第3部分:齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验》

GB/Z 18620.4—2008《圆柱齿轮 检验实施规范 第4部分：表面结构和轮齿接触斑点的检验》

GB/T 18780.2—2003《几何要素 第2部分：圆柱面和圆锥面的提取中心线、平行平面的提取中心面、提取要素的局部尺寸》

GB/T 192—2003《普通螺纹 基本牙型》

GB/T 193—2003《普通螺纹 直径与螺距系列》

GB/T 196—2003《普通螺纹 基本尺寸》

GB/T 197—2003《普通螺纹 公差》

GB/T 1958—2004《形状和位置公差 检测规定》

GB/T 2516—2003《普通螺纹 极限偏差》

GB/T 3071—2005《滚动轴承 向心轴承 公差》

GB/T 3177—2009《光滑工件尺寸的检验》

GB/T 3505—2009《表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数》

GB/T 4249—2009《产品几何技术规范（GPS） 公差原则》

GB/T 5847—2004《尺寸链 计算方法》

GB/T 9144—2003《普通螺纹 优选系列》

GB/T 9145—2003《普通螺纹 中等精度、优选系列的极限尺寸》

GB/T 9146—2003《普通螺纹 粗糙精度、优选系列的极限尺寸》

GB/T 321—2005《优先数和优先数系》

GB/T 5371—2004《极限配合 过盈配合的计算和选用》

GB/T 6443—1986《渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据》

GB/T 4459.2—2003《机械制图 齿轮表示法》

GB/T 3934—2003《普通螺纹量规 技术条件》

GB/T 1095—2003《平键 键槽的剖面尺寸》

GB/T 1096—2003《普通型 平键》

GB/T 1144—2001《矩形花键尺寸、公差和检验》

GB/T 6093—2001《几何量技术规范（GPS） 长度标准 量块》

GB/T 1957—2006《光滑极限量规 技术条件》

GB/T 3177—2009《产品几何技术规范（GPS） 光滑工件尺寸的检验》

1.3.2 优先数与优先数系

标准化要求各种参数系列化和简化，需将参数值（如公差值等）合理地分级分档，使其有恰当的间隔，以便应用。优先数系是国际上统一的数值分级制度，我国也采用这种制度。它有许多优点，应用广泛。

1. 基本系列和补充系列

常用的数系有等差级数和等比级数。例如参数值按等差级数分档，虽其相邻项的绝对差相等，但相对差不等。如1, 2, 3, …, 10, 11, 12, …, 100, 101, 102, …。1与2相对差为100%，而100与101为1%，这样先疏后密，参数值分档不合理。而采用等比级数，则可以避免等差级数的缺点。优先数系是一种十进制的等比级数，在现行标准中，规定了5

个公比的数系，其表示方法和公比见表 1-1。其中，R80 为补充系列，其余为基本系列。

表 1-1 优先数系及公比

优先数系	R5	R10	R20	R40	R80
公比	$\sqrt[5]{10} \approx 1.6$	$\sqrt[10]{10} \approx 1.25$	$\sqrt[20]{10} \approx 1.12$	$\sqrt[40]{10} \approx 1.06$	$\sqrt[80]{10} \approx 1.03$

在 1 ~ 10 之间，R5 系列有 5 个优先数，即 1（不计），1.6，2.5，4，6.3，10；R10 系列有 10 个优先数，即在 R5 的上列 5 个优先数中再插入 1.25，2，3.15，5，8 五个数（均为比例中项），依次类推。项值可从 1 开始向大于 1 和小于 1 两边延伸。理论优先数位数很多，或为无理数，需予以圆整，圆整后见表 1-2。

表 1-2 优先数基本系列数值（摘自 GB/T 321—2005）

R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40
1. 00	1. 00	1. 00	1. 00				2. 24	2. 24			5. 00	5. 00	5. 00
			1. 06				2. 36		5. 30				
		1. 12	1. 12	2. 50	2. 50	2. 50	2. 50		5. 60	5. 60			
			1. 18				2. 65		6. 00				
		1. 25	1. 25			2. 80	2. 80	6. 30	6. 30	6. 30	6. 30		
			1. 32				3. 00		6. 70				
		1. 40	1. 40		3. 15	3. 15	3. 15		7. 10	7. 10			
			1. 50				3. 35		7. 50				
		1. 60	1. 60	1. 60	1. 60			3. 55	3. 55		8. 00	8. 00	8. 00
					1. 70				3. 75		8. 50		
1. 80	1. 80			4. 00	4. 00	4. 00	4. 00		9. 00	9. 00			
	1. 90						4. 25		9. 50				
2. 00	2. 00					4. 50	4. 50	10. 00	10. 00	10. 00	10. 00		
	2. 12						4. 75						

2. 派生系列

由于生产的需要，优先数还有派生系列。派生系列是从基本系列或补充系列 R_r 中，每 p 项取值导出的系列，以 $R_{r/p}$ 表示，比值 r/p 是 1 ~ 10，10 ~ 100 等各个十进制数内项值的分级数。

派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$$

比值 r/p 相等的派生系列具有相同的公比，但其项值是多义的。例如，派生系列 $R_{10/3}$ 的公比 $q_{3/10} = 10^{3/10} \approx 2$ ，可导出三种不同项值的系列：

- 1.00，2.00，4.00，8.00
- 1.25，2.50，5.00，10.0
- 1.60，3.15，6.30，12.5

上述三种数列在工程生产中应用较为广泛。

此外，由于生产需要，优先数系还有复合系列（多公比混合系列）。

3. 优先数系主要特点

优先数系的主要特点如下:

- 1) 各种相邻项的相对差相等, 分档合理, 疏密恰当, 简单易记, 有利于简化统一。
- 2) 便于插入和延伸。例如, 在 R5 系列中插入比例中项, 即得 R10 系列, 在 R10 系列中插入比例中项, 即得 R20 系列, 依次类推。数系两端都可按公比任意延伸。
- 3) 计算方便。理论优先数 (未经近似圆整) 的积、商、整数乘方仍为优先数, 其对数为等差数列, 这对数值的传播有利。工程中一些常数也近似为优先数, 如 $\pi \approx 3.15$, $\pi/4 \approx 0.8$, $\pi^2 \approx 10$, $\sqrt{2} \approx 1.4$, $\sqrt[3]{2} \approx 1.25$ 等。又例如直径采用优先数, 则传播到圆面积 $A = \pi D^2/4$, 仍为优先数。

1.4 本课程的研究对象及任务

本课程由互换性与测量技术两个联系密切的部分组成, 是一门技术基础课。目前, 本课程涉及的范围, 还只限于几何量参数的互换性和检测。前者主要是学习研究公差与配合的国家标准内容及其初步应用, 是从精度的观点去分析研究机械零件及其结构的几何量参数, 属精度设计的范畴; 后者是学习测量技术的基本知识与技能, 属计量学的范围, 许多内容要通过实验课来学习。很多国家的高等院校, 是将这两部分内容分设于两门或多门课程之内。总之, 这两方面的知识, 都是机械类和仪器仪表类专业的学生必须掌握的。

与本课程密切有关的前导课程有“机械制图”、“金属工艺学”、“机械原理”等, 后续课程有“机械设计”、“机械制造工程”及有关专业的设计课程和工艺课程。特别是公差与配合的选用这一部分内容, 更有待后续课程和课程设计及毕业设计去实践提高。

本课程需要掌握的内容如下:

- 1) 掌握互换性和标准化的基本概念。
- 2) 掌握几何量误差和公差的主要内容和特点, 包括尺寸误差和公差、几何误差和公差、表面粗糙度以及它们之间的相互关系 (公差原则和要求)。
- 3) 能够根据机器和零件的功能要求, 合理选用公差与配合, 并在图样上正确标注。
- 4) 掌握几何参数测量的基础知识和测量方法。

习题与思考题

- 1-1 影响机械产品质量的几何量误差有哪些? 各有何特征?
- 1-2 试述互换性的含义、优越性及实现互换性生产的基本技术措施。
- 1-3 试列举若干互换性应用实例。
- 1-4 优先数系有何优点? 写出 R10 系列从 0.1 ~ 100 的全部优先数。

第2章 产品几何量的加工误差与公差

2.1 加工误差的基本概念

任何加工和测量都不可避免有误差存在,所谓精度较高,只是误差较小而已。

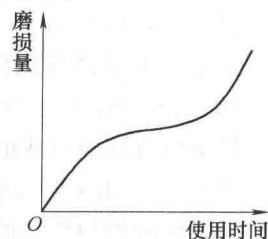
尺寸的加工误差是加工后得到的尺寸与设计要求的理想尺寸之差。关于理想尺寸,迄今还没有法定的定义,但一般理解为公差带中点的尺寸(公差带的概念后面再介绍)。测量误差,是测量结果与被测的量的真值之差。

误差按性质可分为以下三类。

(1) 系统误差 在一定的加工或测量条件下,误差的数值(大小)和正负号(方向)均恒定不变或按一定可知规律变化的误差,称之为系统误差。

1) 定值系统误差(常值系统误差):当用钻头加工孔时,若钻头直径比要求的大 0.05mm ,则所加工的孔受该因素影响,将都有 $+0.05\text{mm}$ 的定值系统误差。

2) 变值系统误差:若钻头在加工孔的过程中有磨损,且磨损量有如图2-1所示规律,则所加工的一批孔,其直径误差也有按该规律变化的变值系统误差。



用游标卡尺测量尺寸,若游标卡尺有“ -0.01 ” mm 的对零误差,则所测尺寸都将因此而比正确结果小 0.01mm ,这是测量的系统误差。

对待系统误差,应仔细查找其大小和规律,并从测量结果中修正,或尽可能从根源上消除。

图2-1 刀具磨损产生的误差

(2) 随机误差 在一定的加工或测量条件下,误差的数值(大小)和正负号(方向)都以不可预知的方式变化,即数值在一定范围内可大可小、符号可正可负的误差,称之为随机误差。例如,加工时因材料性能不均匀,温度的波动变化,以及“机床—刀具—工件—夹具”组成的、工艺系统不规则的振动等因素引起的工件尺寸误差都是随机误差。由于这种误差具有随机性,故无法修正或完全消除。

对待随机误差,除查找根源并尽可能部分消除或减弱外,还要用数理统计的方法作理论分析,及通过实验估计出误差分布的大小范围和规律,以便心中有数,妥善处理。

(3) 粗大误差 粗大误差是由于加工或测量人员的失误,或环境条件的突变(如较大的冲击、振动和来自电源的突变干扰等)或其他不正常因素造成的,其误差值也较大,故称粗大误差。

粗大误差应尽量避免,对混在一系列统计数据中,数值虽较大(或较小)但不明显的可疑数据,可按基于统计原理的一些准则来判断,如发现含有粗大误差,该数据应予以剔除。

前已述及,产品几何量误差按其特征可分为尺寸误差、几何误差(形位误差)和表面

粗糙度。其中,几何误差包括形状误差、方向和位置误差。这里的形状误差是指宏观形状误差,而表面粗糙度是微观形状误差。下面分别予以介绍。

2.2 尺寸误差与公差

2.2.1 术语和定义

(1) 尺寸 以特定单位表示线性尺寸值的数值。

(2) 尺寸要素 由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状。

(3) 公称尺寸 (以前称基本尺寸) 由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。公称尺寸可以是一个整数或一个小数值 (如 32、15、8.75、0.5、…), 宜按标准取值; 公称尺寸通常是设计时经过计算或根据经验给定的尺寸。

实际尺寸: 通过测量所得到的尺寸, 又称测得尺寸。由于任何测量都有误差存在, 所以实际尺寸并非真实尺寸。而且不同的人员、不同时间、不同环境或不同的测量器具, 测得的尺寸往往不同。

(4) 实际 (组成) 要素 由接近实际 (组成) 要素所限定的工件实际表面的组成要素部分。

(5) 提取组成要素 按规定方法, 由实际 (组成) 要素提取有限数目的点所形成的实际 (组成) 要素的近似替代。

(6) 轴 (Shaft) 通常指工件的圆柱形外尺寸要素, 也包括非圆柱形的外尺寸要素 (由二平行平面或切面形成的被包容面)。其直径一般以字母 d 表示, 如图 2-2 所示。

(7) 孔 (Hole) 通常指工件的圆柱形内尺寸要素, 也包括非圆柱形的内尺寸要素 (由二平行平面或切面形成的包容面)。其直径一般以字母 D 表示, 如图 2-2 所示。

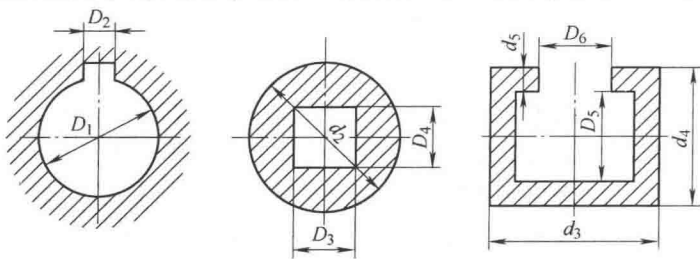


图 2-2 孔和轴的示意图

(8) (提取组成要素的) 局部尺寸 一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称。可将提取组成要素的局部尺寸简称为提取要素的局部尺寸。任何零件的测量值一般都是局部尺寸, 即实际尺寸。

把任意两相对点之间测得的尺寸, 如孔或轴任意横截面中, 任一位置的直径, 称之为“局部实际尺寸” (或“实际局部尺寸”)。通常所谓的实际尺寸, 即两点法对径测量测得的局部实际尺寸。

(9) 极限尺寸 尺寸要素允许的尺寸的两个极端。提取组成要素的局部尺寸应位于其

中,也可达到极限尺寸。

1) 上极限尺寸 尺寸要素允许的最大尺寸(在以前的版本中,上极限尺寸被称为最大极限尺寸)。孔用 $D_{\max}$ 表示,轴用 $d_{\max}$ 表示。

2) 下极限尺寸: 尺寸要素允许的最小尺寸(在以前的版本中,下极限尺寸被称为最小极限尺寸)。孔用 $D_{\min}$ 表示,轴用 $d_{\min}$ 表示。

(10) 极限制 经标准化的公差与偏差制度。

(11) 零线 在公差带图解中,表示公称尺寸的一条直线,以其为标准确定偏差和公差。

(12) 偏差 某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

(13) 极限偏差 极限尺寸减公称尺寸的代数差,有上极限偏差和下极限偏差(在以前的版本中,分别称之为上偏差和下偏差)。

1) 上极限偏差(法文 Ecart superieur): 孔的上极限偏差代号用大写字母 ES 表示;轴的上极限偏差代号用小写字母 es 表示。

2) 下极限偏差(法文 Ecart inferieur): 孔的下极限偏差代号用大写字母 EI 表示;轴的下极限偏差代号用小写字母 ei 表示;

图样标注,孔为 $\phi D_{\text{EI}}^{\text{ES}}$, 轴为 $\phi d_{\text{ei}}^{\text{es}}$ 。极限偏差值可为正、负或零,但上、下极限偏差不能同时为零。

(14) 基本偏差 确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上极限偏差或下极限偏差,一般为靠近零线的那个偏差。

(15) 尺寸公差(简称公差) 上极限尺寸减下极限尺寸之差,或上极限偏差减下极限偏差之差。它是允许尺寸的变动量。尺寸公差是一个没有符号的绝对值。孔和轴的尺寸公差一般以 T_h 和 T_s 表示。

(16) 公差带 在公差带图解中,由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它是由公差大小和其相对零线的位置,如基本偏差来确定。

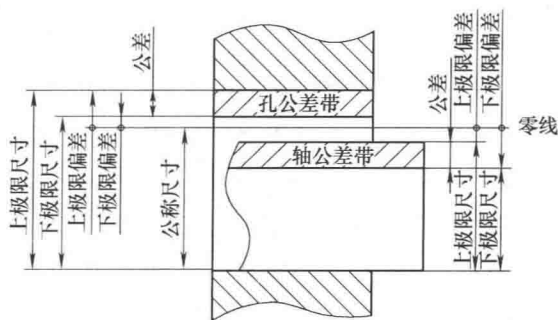


图 2-3 与尺寸有关的相关术语

与尺寸有差的相关术语如图 2-3 所示。

例 2-1 求下列尺寸的极限偏差与公差,并画出公差带图:

$$\phi 20 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.130 \end{smallmatrix}, \phi 10 \begin{smallmatrix} +0.015 \\ 0 \end{smallmatrix}, \phi 15 \begin{smallmatrix} -0.050 \\ -0.120 \end{smallmatrix}, \phi 25 \begin{smallmatrix} +0.120 \\ +0.050 \end{smallmatrix}, \phi 40 \begin{smallmatrix} +0.160 \\ -0.160 \end{smallmatrix}$$

解:

上极限偏差分别为 0, +0.015mm, -0.05mm, +0.120mm, +0.160mm;

下极限偏差分别为 -0.130mm, 0, -0.120mm, +0.050mm, -0.160mm;

公差分别为 0.130mm, 0.015mm, 0.070mm, 0.070mm, 0.320mm, 公差带图如图 2-4 所示。

为方便起见,通常在公差带图上标注极限偏差而不标注极限尺寸。

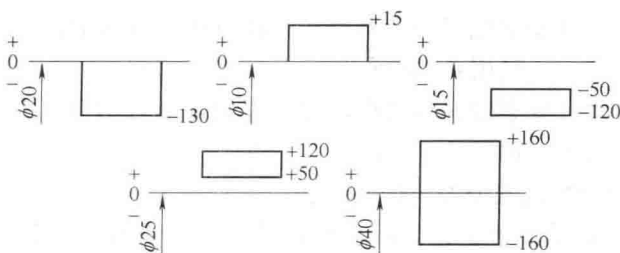


图 2-4 公差带图

2.2.2 加工尺寸误差的统计分布

在正常的加工尺寸中，明显的系统误差应予以消除，粗大误差应予以剔除。这里讨论尺寸误差的统计分布，主要是对随机误差而言。

1. 正态分布规律

例 2-2 加工 150 个 $\phi 50\text{mm}$ 的轴件，其尺寸都在 $\phi 50.305\text{mm} \sim \phi 50.415\text{mm}$ 之间。这种分散是因随机误差造成的。

解：现将工件按尺寸等分为 11 组，并统计列于表 2-1。

表 2-1 大批工件尺寸统计

序号	尺寸分组	中间值 $\bar{x}_i$	频数 m_i	频率 m_i/n (%)
1	$= 50.305 \sim 50.315$	50.31	1	0.7
2	$> 50.315 \sim 50.325$	50.32	3	2.0
3	$> 50.325 \sim 50.335$	50.33	8	5.3
4	$> 50.335 \sim 50.345$	50.34	18	12.0
5	$> 50.345 \sim 50.355$	50.35	28	18.7
6	$> 50.355 \sim 50.365$	50.36	34	22.7
7	$> 50.365 \sim 50.375$	50.37	29	19.3
8	$> 50.375 \sim 50.385$	50.38	17	11.3
9	$> 50.385 \sim 50.395$	50.39	9	6.0
10	$> 50.395 \sim 50.405$	50.40	2	1.3
11	$> 50.405 \sim 50.415$	50.41	1	0.7

尺寸的平均值 $\bar{x}$ 为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{150} x_i}{150} \approx \frac{\sum_{i=1}^{11} m_i x'_i}{150} = 50.360\text{mm}$$

式中， m_i 为各组尺寸出现的次数； x'_i 为分组中间值。

按表 2-1 中数据画出如图 2-5 所示的频率分布直方图。图中，横坐标按等距 Δx 分段，各直条方块面积之间的比例代表表 2-1 中各 m_i 值或 $\frac{m_i}{n}$ (%) 之间的比例，而全部直方面积的总和 A_Σ ，为频率的总和，即

$$A_\Sigma = \sum_{i=1}^{11} \frac{m_i}{n} = 1 (100\% \text{ 工件})$$